

NAGY TEREPI FELBONTÁSÚ ÉS FREKVENCIÁJÚ LÉGI FELMÉRÉSEN ALAPULÓ MONITORING-HÁLÓZAT KIÉPÍTÉSI MÓDSZERTANA

BAKÓ Gábor

Interspect Kft.

2314 Halásztelek II. Rákóczi Ferenc út 42., e-mail: bakogabor@interspect.hu

Kulcsszavak: természetvédelem, nagyfelbontású légi távérzékelés, tájvédelem, élőhely, ortofotó

Összefoglalás: Egy olyan monitoringhálózat-típus módszertani felépítését ismertetjük, amely extrém nagy felbontású légi távérzékelési állományok segítségével, részletes terepi vizsgálatokkal és retrospektív adatgyűjtéssel tárja fel a tájrészletre jellemző foltok állapotát. Így a kontinens és tagállam léptékű vegetáció-, élőhely- és biodiverzitás-monitorozó hálózatokhoz kapcsolódva, új léptékben szolgáltathat adatokat. Az eljárás legfontosabb elvei közé tartozik a zavarásmentes műszaki megvalósítás, illetve az interdiszciplináris kiértékelés, a gyakorlatorientált szempontrendszer, a fenntartható gazdálkodási struktúrák, valamint a környezet- és természetvédelem releváns kérdéseinek megválaszolása érdekében. Az eljárás tesztelése 2018-ban 15 helyszínen vette kezdetét a 2008 és 2018 között kidolgozott műszaki alapokon. A tapasztalatok megerősítették, hogy az extrém nagy felbontású légi felmérési gyakorlat költséghatékonyan és akadálymentesen alkalmazható a mintaterületek számának radikális növekedése esetén is.

Bevezetés

Mivel a biodiverzitás- és élőhely-csökkenésből eredő folyamatok káros hatást gyakorolnak a tagállamok gazdaságára, így a piacközpontú társadalmak jövőbeli sikerei is az ökoszisztémák védelmén és szolgáltatásaik fenntartásának segítségével múlnak (Harmon 2007). Ahhoz, hogy gazdasági helyzetünket hosszú távon megőrizzük, vagy javíthassuk, ezen szolgáltatások mibenlétét időben fel kell ismerni, amiben az ökológiai monitoring hálózatok kulcsszerepet töltenek be (Lorimer 2018).

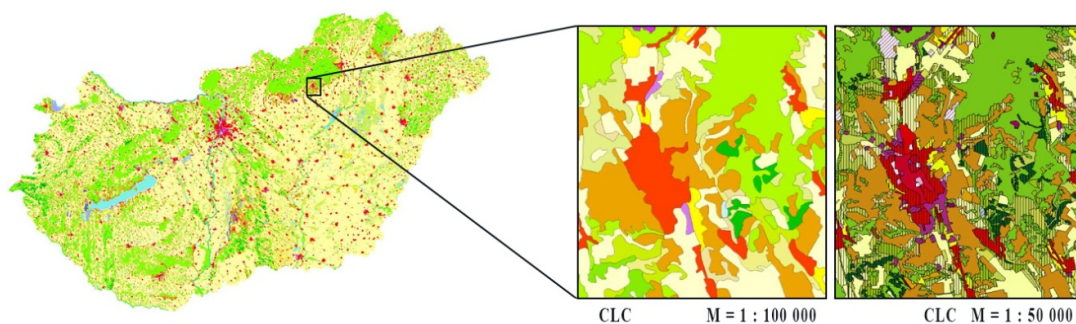
A bemutatásra kerülő projekt célkitűzése, hogy minél több tájrészlet és élőhely típus állapotát jól dokumentálhatóan nyomon kövessük az élhető környezet, a magyar táj változatosságának megőrzése, az őshonos flóra és fauna védelme érdekében. A monitoring hálózat elsősorban a természeti értékek védelmében, valamint a természeti erőforrás-gazdálkodásban lényeges folyamatok vizsgálatára szolgál. A módszer feladata, hogy válaszokkal szolgáljon a gyakorlati szakemberek számára és az országjelentések kapcsán felmerülő kérdésekre, másrészt – a megelőzést segítő – időben jelezze a környezeti degradációt. A rendszer tervezése során fontos, hogy minél nagyobb tudományos célterületeket lásson el releváns adatokkal, tehát kiemelten támogassa az igény-vezérelt kutatási területeket (Opdam 2018), és megalapozott információkat biztosítson a jövőkutatás (Bakó 2014a), a kilátások feltérképezésén dolgozó szakemberek részére a fenntartható gazdálkodást megalapozó döntések érdekében (Bakó 2018).

A természeti és kultúrtörténeti értékek, ökoszisztéma szolgáltatások védelméért dolgozók gyakran kényszerülnek e tevékenységek széles körben történő elfogadtatását gazdasági érvekkel alátámasztani (Daily és Ellison 2002). A sűrű mintavétel, gyors helyzetértékelés, az információk szabad áramlása és az adatok térbelisége meghatározó szerepet tölt be egy előrejelző és helyzetértékelő rendszer felépítésénél. A kellően nagy részletességű légi adatgyűjtés jól dokumentálható módon biztosíthat lehetőséget a környezeti változások rögzítésére, ugyanakkor a tagállamok teljes területére gazdaságosan nem végezhető el (Fernandez-Guisuraga et al. 2018, Gann és Richards 2013, Dandois és Ellis 2013), ráadásul a legtöbb esetben nem nélkülözheti a helyi természetvédelmi örök, kutatók bevonását és terepi munkáját. Ennek köszönhető, hogy 2008-ban az Európai Unió irányelveket és az utóbbi

évtizedekben kialakult hazai jogszabályokat támogató komplex megfigyelési stratégia kidolgozásába kezdtünk, egyre több kutató és intézmény bevonásával. A technológia fejlődésével új, költséghatékony eljárás kidolgozására került sor, amely jól illeszkedik a meglévő, más módszerekkel működtetett felmérések és adatbázisok mellé, számos új elemmel kiegészítve azokat.

A legújabb légi felmérési technológiák lehetővé teszik a hálózatszerűen elhelyezkedő, kiemelt fontosságú kutatási területek nagyfelbontású feltérképezését. A periodikusan végzett térképezéssel olyan monitoring-hálózat építhető ki, amellyel elemezhetők az egyes mintaterületek valamint környezetük állapotváltozása, így idejekorán kimutatja a tájban jelentkező anomáliákat. A rendszer szervesen beépül a hagyományos kontinens és tagállam léptékű távérzékelési adatok mellé, pontosítva azok lokális információtartalmát, míg az előbbieket kiterjesztik a foltokban vizsgált paramétereket a hálózat által nem érintett területekre vonatkozóan.

A távérzékeléssel támogatott adatgyűjtés részletessége három fő szintre tagolható. Ezek a szintek egymást is támogatják. A műholdas, kontinens szintű vizsgálatok olyan felszínborítási adatbázisokkal gazdagítják a döntéshozók eszköztárát, mint például a CORINE Land Cover (Büttner és Kosztra 2017), vagy egyéb, kisleptékű téradatok (Bakó 2014b). Az 1. ábra kétféle részletességi szintet mutat be a CORINE Land Cover téradatbázisból.



1. ábra A CORINE Land Cover 1:100 000 és 1:50 000 léptékű változatainak részletessége
 Figure 1. The resolution of CORINE Land Cover 1:100 000 and 1:50 000

Az utóbbi években sok változás volt a kontinens léptékű elemzések részletességében és lehetőségek sora merült fel az új stratégiák kapcsán (Bakó 2014c), ezek alapvetően a műholdas földmegfigyelésre épülnek. Abban minden résztvevő véleménye egyezik, hogy a tagállami szintű közigazgatási feladatok ellátását ezek a téradatok önmagukban még nem támogatják kellőképpen, a részletességükből és céljukból eredően. Éppen ezért a tagállamok országos léptékű (40–10 cm terepi felbontású) légi felméréseket végeznek (2. ábra) a közigazgatási és a közszolgálati feladatokhoz, így ezek az ortofotók a naprakész térképellátottság alapvető elemei (Bakó et al. 2014a, Bakó 2014c).

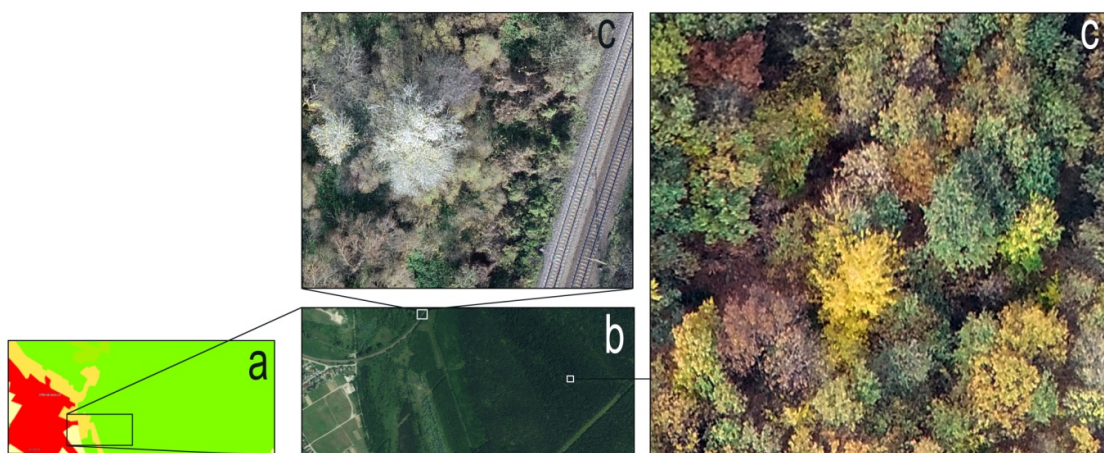


2. ábra Repülőgépes felvételezésen alapuló ortofotó és kataszteri térkép
Figure 2. Ortho-image and cadastral map of a city based on classic aerial photogrammetry



3. ábra A centiméter felbontás-tartomány új tudományos eredmények lehetőségét jelenti a különböző kiértékelési szempontrendszereket alkalmazó kutatók számára
Figure 3. The range of centimeter spatial resolution carries a potential to new scientific results for different evaluation criteria

A nagyfelbontású lokális felmérések 0,5–5 cm terepi felbontású légi térképei (3. ábra) a kiemelt fontosságú, vagy a tájegységet jól jellemző néhány hektáros területek periodikus ellenőrzésén keresztül a legrészletesebb légi távérzékelt adatokat szolgáltatják a felszínről (Bakó 2013b). A kisebb felbontású, országos és kontinens léptékű felmérések térben kiterjesztik a nagyrészletességű foltokban megismert jelenségek és objektumok feltérképezését (Fülöp et al. 2015), mert a nagy terepi felbontású képeken tapasztaltakkal validálható a kis- és a közepes felbontású felvételeken észlelhető jelek egy jelentős része (4. ábra).



4. ábra A kontinens (a), az országos (b) és a területi léptékű (c) részletesség összehasonlítása
 Figure 4. Comparison of spatial resolutions at continent (a), national (b) and research site (c) level

Fontos szempont a magyar táj rohamos átalakulásának dokumentálása, az inváziós növényfajok terjedésének, a mikroklíma megváltozásának és a változó gazdálkodásból következő jellegzetes folyamatok monitorozásán keresztül. A célunk egy olyan hálózat módszertanának kidolgozása volt, amely választ kínál a fenntartható tájgazdálkodás legsürgetőbb kérdéseire, országos lefedettséget biztosít, objektív, jól dokumentálható és visszaellenőrizhető. Biztonságos természet- és környezetvédelmi jelzőrendszert képez, amellyel, hogy a legkevésbé sem avatkozik bele a vizsgált közegbe. Információkkal látja el a döntéshozókat, látványos és gyors eredményeket produkál, naprakészen tartja az adatokat. Mindeközben új tudományos eredményeket kínál a léptékből és a számos bekapcsolható szakterületből eredően, ugyanakkor illeszkedik a bevált monitoring rendszerek sorába, kiegészítve azokat, redundáns adatgyűjtés nélkül.

Anyag és módszer

A légi felmérés terepi felbontás kategóriái a korábban folytatott léptékvizsgálatok (Bakó 2010) alapján és a publikált műszaki háttér (Bakó 2013a) ismeretében kerültek megválasztásra. A felvételezett területek kijelölésénél fontos, hogy megtalálhatók legyenek azok a tájkarakter elemek, amelyek a vizsgálati foltot tartalmazó tájrészletben jellemzők. A reprezentáns elemek, tájjellemzők megjelenése lényeges a nagyobb tájrészlettel kapcsolatban levonható következtetések szempontjából. A hálózat felépítésekor három terepi felbontás kategóriában jelölhetők ki területek (1. táblázat). Az ortofotó sorozatok mellett szintén teljes területfedéses oblique felvételek is készíthetők. Az oblique termékek olyan fotogrammetriai feldolgozáson átesett felvételek, amelyeket az ortofotókhoz hasonlóan egy blokkban, sugárnyaláb kiegyenlítéssel georeferálnak, de mivel ferde mérőkamera-állással fényképezték őket, az objektumok felülről-oldalról is megtekinthetők ezeken a perspektív látványt nyújtó fotó-térképeken. A színezett háromdimenziós pontfelhő a háromdimenziós teret adja vissza felületmodell formájában.

1. táblázat A hálózat terepi felbontás kategóriáinak gazdaságos feltétele, átlagos négyzetes hibája (RMS), digitális állományai és felhasználási területei

Table 1. The study area size, the root mean square error, the digital product and the area of use of the three spatial resolution categories of the monitoring network

Kategória	Terepi felbontás	Vizsgálati feltétele	Geometriai pontosság	Állományok	Területtípus
I.	0,5 cm	Költőtelep méretéhez igazítva	RMS = 20 cm	teljes területfedéses ortofotók	vízimadár költőtelepek
II.	2 cm	200 × 300 m	RMS = 20 cm	teljes területfedéses ortofotók, oblique fotogrammetriai termékek és háromdimenziós modellek	A tájrészlet szempontjából reprezentatív módon elhelyezkedő, tetszőleges tájolású sáv
III.	4 cm	100 × 2000 m	RMS = 20 cm	teljes területfedéses ortofotók, oblique fotogrammetriai termékek és háromdimenziós modellek	A tájrészlet szempontjából reprezentatív módon elhelyezkedő, tetszőleges tájolású és oldalarányú terület

A felvételezéshez közepes és nagysebességű merevszárnyú repülőgépeket alkalmazunk. Az alkalmazott mérőkamerák lehetővé teszik az I. kategóriába eső felvételezés elvégzését 220 km/h, a II és III. kategóriába eső felvételezést 820 km/h repülési sebesség mellett, képvándorlás nélkül, és a sztereo felvételek közötti legalább 65% átfedéssel. Mivel az elérhető repülőgépekkel az időjárási anomáliák mellett 650 km/h repülési sebesség tartható, valamint a 85% feletti soron belüli átfedés pontosabb és kevesebb utómunkával járó feldolgozást tesz lehetővé, a felmérendő területeket érdemes ilyen 240–650 km/h sebességtartományban felfűzni a repülési útvonalra. Ezzel rengeteg időt és üzemanyagköltséget takaríthatunk meg a repüléseknél, illetve még nagyobb költségmegtakarítás mutatkozik a fotogrammetriai képfeldolgozás esetében.

A felvételek feldolgozása részben automatizálható a direkt tájékozás bevezetésével. A külső tájékozási adatok mérése és képekhez csatolása azért is nélkülözhetetlen, mert számos mintavételi területen (például lápok, vizes élőhelyek esetében) lehetetlen illesztő pontokat mérni. Az illesztő pontok kihelyezése, előre jelölése és geodéziai bemérése eleve bolygatást okozna a területeken, és radikálisan megnövelné a költségeket is. Ezért a felmérések kezdeti, műszerfejlesztési költségének emelésével elérhető, hogy a rutinszerű gyakorlati feladatvégzés költséghatékonyan menjen végbe.

Ugyancsak nagyobb kezdeti befektetést igényelnek azok az objektívek is, amelyekkel a 0,5 cm terepi felbontás 800 m terepfelületi repülési magasságból, éles és megfelelő színvisszaadású felvételezéssel kivitelezhető. A tömegük is 5000 g fölötti, így a kisméretű pilóta nélküli repülőeszközöket (mikro UAV) kizárják. Ez a felszerelés azonban a zavarásmentes vizsgálat alapfeltétele, és a sok száz felmérendő pont esetében így is olcsóbb a helyszínek néhány útvonalra történő felfűzése repülőgéppel, mint a hónapokig végzett UAV fényképezések. A jogszabályi környezet is a repülőgépes felmérésnek kedvez, és nem csak azért, mert az UAV-al történő munkavégzésnek bonyolult, költséges és hosszadalmas az engedélyeztetése, de a védett területek fölé kijelölt 300 és 450 m alatti repülési tilalom is azoknak a repülő eszközöknek kedvez, amelyek a nagytömegű, magasról is nagy terepi felbontású képeket készítő szenzorokat hordozni képesek. Tapasztalataink szerint a 60–120

méteren végzett UAV repülések minden esetben zavarják az emlősöket és a madarakat (5. ábra), így a 300–450 m repülési tilalmat (26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM) megalapozottnak találtuk.



5. ábra Az állatokat zavarja a drónok átrepülése
Figure 5. Grey herons disturbed by overflying drones

Az ortofotókat kiegészítik a vízszintestől 25–45°-os szöget bezáró kameratengelyű oblique felvételek, azaz ferde tengelyű fotogrammetriai termékek, amelyek nemcsak a térmodellek részletességét és pontosságát, növényzetbe látását növelik meg, de a kiértékelők nagyobb távolságból, alacsonyabb betekintési szögből is ellenőrizni tudják az ortofotókon látottakat. A felmérés megtervezésekor költségoptimalizálási és repülésbiztonsági szempontból is lényeges a kijelölt kutatási területek megfelelő sorrendű felfűzése a repülési útvonalra.

A felvételek feldolgozása sík területek esetében a domborzati szűrésekig teljesen automatizálható, míg hegyvidéki területek esetében több beavatkozást igényel. A kidolgozott ortofotók mozaikolását a későbbiekben nem javasoljuk, mert a modern térinformatikai szoftverek és számítástechnikai kapacitás jobb információnyerési és ellenőrzési lehetőséget kínál a felvételek összeolvasztása nélkül. A térinformatikai szoftverben a képkészítési helyeiken megnyíló, szabatos ortofotók egymás fölé rendeződnek. A képek alá lapozva akár 14 nézőpontból is megtekinthető egy adott fa, vagy nagyobb testű állat. Ilyen módon az adott képről bizonytalan észlelés az adott térpontot tartalmazó többi ortofotó vizsgálatával pontosítható.

A felvételeket az adott terület szempontjából meghatározott kiértékelési sorokkal vizsgálják, vektorgrafikus tematikus céltérképek és a szükséges statisztikai adatok kinyerése érdekében. Például a vadszámlálás és lombkorona dinamika, erdészeti lék és erdőszegély vizsgálatok, gyepdinamika felmérések, szennyezettség értékelés évente, a nádas felmérés öt éves periódusokban javasolt. A monitoring-hálózat alkalmas a tájkarakter fennmaradásának

vizsgálatára, az erdőszerkezetre vonatkozó elvárások elérésének és természetvédelmi korlátozások betartásának ellenőrzésére, a fertőzések és özönnövények korai észlelésére.

A monitoring-hálózat alappillérei

- Koordinátor

Olyan szervezet, amely koordinálja a légi felméréseket, valamint a hozzájuk tartozó terepi szakértői vizsgálatokat és a kiértékelést. Az adatbankot saját szerverein open access módon szolgáltathatja a kutatóintézetek, egyetemek és bármely résztvevő számára.

- Légi felmérési kapacitás

Olyan légi felmérő szervezet, amely rendelkezik a zavarásmentes nagy terepi felbontású technológiával, légi felmérési szakértelemmel, és publikált eredményeket mutatott fel a monitoring-hálózat kiszolgálásához.

- Terepi ellenőrző és kiértékelő tevékenység

A helyszíni vizsgálatok, validálás és számítógépes digitalizáló, céltérkép készítő és elemző feladatok a helyi szakértők körének bevonásával.

A nemzeti parkoknál, tájgondnokoknál és a megfelelő kutatóintézeteknél található meg ez a kapacitás.

Eredmények és megvitatásuk

A Gödöllőn, Vácrátóton és a Bükk-hegységben elvégzett nagy terepi felbontású (3–5 cm) multispektrális légi felmérések tapasztalatai után, a 2016–2017-ben az oblique fotogrammetriával kiegészített nagyfelbontású ortofotó eljárást teszteltük tovább, amelynek legfontosabb tesztterülete a háros-félszigeti erdőrezervátum, illetve egy dunai puhafás ligeterdő volt.

A nagy terepi felbontású (0,5–5 cm) valószínűs felvételeken a felső lombkoronaszintet adó fafajok térképezésekor mindössze 0,8% hibát tapasztaltunk a téli (lombszegény) felmérés terepi ellenőrzésekor, míg a zsenge tavaszi (még diverz lombállapotú) térképezésekor a hiba 5% volt ugyanazon a mintaterületen. Ez az eleinte meglepő eredmény a nagy részletességű képeken, télen jól megfigyelhető ágrendszer és bőrszövet színbeli és textúrabeli különbségeinek kihasználására vezethető vissza. A téli felvételekkel szemben tavasszal már lombborítás jellemző, és a levelek mind a multispektrális, mind a valószínűs felvételeken erősen befolyásoltak a kitettség, vízellátottság és egyéb környezeti paraméterek által, amelyek sok esetben nem fajra jellemzők, hanem azonos faj egyedei között is változatosságot mutatnak (Bakó 2017). Valószínűleg ilyesmit tapasztalnánk a hasonló, alföldi klímaterületen megtalálható ártéri erdők esetében is, de más társulásokban további előre nem várt lehetőséggel is találkozhatunk. Így ez a felbontás-tartomány számos új tudományos eredmény lehetőségét vetíti elénk.

Az előzetes vizsgálatok után, 2018-ban 15 helyszínnel vette kezdetét a hálózat gyakorlati tesztelése (2. táblázat). Ezek közül öt helyszíni légi felmérését több időpontban is elvégeztük.

2. Táblázat A 2018-ban felvételezett területek megoszlása kategória szerint

Table 2. Distribution of areas surveyed in 2018 by category

Terület megnevezése	Kategória és adattípus	Megvalósult ismételtes / tervezett ismételtesek száma egy éven belül
Erdőgazdálkodási területek (Bakonybél)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/4
Geológiai képződmények (Százhalombatta)	II. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/1
Juhdöglő-völgy Erdőrezervátum (Vértes-hg.)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/1
Kékes-Észak erdőrezervátum	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/1

Kiskunlacháza - Apajpuszta	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/2
Kisszénás (Budai-hg.)	II. / mozaikolt ortofotó-térkép	2/2
Kolon-tavi vízimadár kolóniák	I. / ortofotók és oblique fotogrammetriai feldolgozáson átesett felvételek	2/3
Közös-erdő (Páhi)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/2
Ócsai lápvidék	II. / mozaikolt ortofotó-térkép	2/2
Pilis-tető	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	2/2
Restaurációs célú visszaerdősítés (Izsák)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/ két évenkénti ismétlés
Urbanizációs területek (Eger)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/1
Gödöllő, Nagy-Istrázsa-hegyi Erdőrezervátum	II. / mozaikolt ortofotó-térkép	2/2
Vitányvár-völgye (Vértess)	III. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/2
Vizes élőhelyek (Ipolytölgyes, Cserge-patak, Perőcsény, Orzsán-patak)	II. / mozaikolt ortofotó-térkép	1/ öt évenkénti ismétlés

A módszer lehetőséget ad az özönnövény fajok térképezésére, az inváziós vektorok jobb megismerésére, és ezáltal a beavatkozások hatékonyabb és olcsóbb megtervezésére (Csiszár és Korda 2015). Emellett az őshonos vegetáció térképezését, dinamikájának változásait, hosszú távú védelmét is elősegíti (Bakó 2013c). A 0,5 cm terepi felbontás a lágyszárúak földdinamikájának vizsgálataihoz is megfelelő lehet (6. ábra).



6. ábra Télisás (*Cladium mariscus*) terjedési dinamikájának vizsgálata a Kolon-tó 7 mm terepi felbontású ortofotójával

Figure 6. Analysis of winter sedge dynamics with 7 mm ortho-image

A módszer segíti az élőhely rehabilitációs helyszínek nyomon követését, valamint a vadállomány állapotának monitoringját és a telepes vízimadarak éves egyedszámlálását. Az élőhelyek intenzív fejlődésének elemzése segíti azok védelmét, indikátorként funkcionál egyes környezetvédelmi, emberi egészségre is kiható folyamatok tanulmányozásához.

Vizsgálható a fehér tündérrózsa és egyéb fajok elterjedése az alföldi víztestekben, hínárfelmérés végezhető. Vizes élőhelyek esetében a telepes vízimadarak és a fészkek számlálása, a vegetáció és nagyléptékű élőhelytérképek elkészítése a költőhely preferencia-

vizsgálatok kapcsán is indokolt. A nádvágás térképezése, vegetációdinamika, gémtelepek produktivitásának vizsgálata országszerte megtalálható helyszíneken, szükségessé teszi a nagy léptékű zavarásmentes légi felméréseket (Molnár és Bakó 2014; Bakó és Licskó 2010).



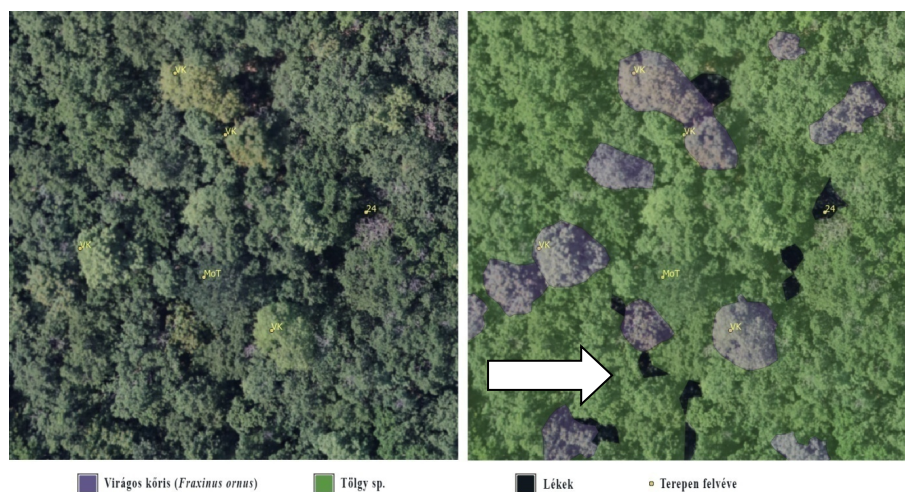
7. ábra Nagy kárókatona és szürke gém számlálás fél cm terepi felbontású ortofotó részletén
Figure 7. Great cormorant and Grey heron population estimation by 0.5 cm spatial resolution orthophoto-map



8. ábra Oblique fotogrammetriai termék részlete, nagykócsag-fészkek, Kolon-tó
Figure 8. Detail of an oblique photogrammetric product, Great Egret nests, Lake Kolon

Az 7–8. ábrákon a fészkek és egyedek számlálásához készült 0,5 cm terepi felbontású repülőgépes ortofotó oblique felvételének részlete látható. A felvételek 800 m magasságból készülnek, így nem okoznak zavarást az érzékeny területeken, a közösség bolygatás nélkül vizsgálható (Bakó et al. 2014b). Klasszikus ortofotókon a kanalas gémelek és a nagy kócsagok megkülönböztetése lehetetlen volna.

A 3–5 cm terepi felbontás-tartomány léptékében lehetőség nyílik az erdőszegély változások, és a belső, lombkoronaszintű dinamika változáskövetésére (9. ábra), az erdei lékek évről évre végbemenő automatizált térképezésére és idősoros elemzésére (Bakó 2012; Bakó és Kovács 2012; Bakó 2013c).



9. ábra Felső lombkorona térképezése
Figure 9. Mapping the upper canopy

A klasszikus (20–40 cm) felbontású, országos léptékű felvételek nem elégítik ki a kiemelt vizsgálati területek információgyűjtési igényeit. Például 2018-ra a Kiskunságban, Páhinál található ún. Közös-erdőben egy erdőfolt összeomlott. Az országosan elérhető kisfelbontású ortofotón egyrészt nem látszott a változás, másrészt ilyen országos léptékű felvétel ritkán készül. Csak a 3 cm terepi felbontású, a monitoring-hálózat teszteléséhez készült felvételtől derült ki a nehezen megközelíthető, védett és elzárt állományban beállt gyorslefordulás változás.

A jelenleg is zajló, 10 évente végbemenő élőhely felmérésekben (NBmR) is felmerülnek olyan spotok, amelyeket nagyobb részletességgel, és gyakrabban kellene dokumentálni a kiértékelők szerint. Tűzeset után a terület gyors és részletes felmérése szintén nélkülözhetetlen. Ugyanígy egy beavatkozásnál a tervtől való eltérés dokumentálása is megkívánja ezt a részletességet és a gyors reagálást.

A hálózat alkalmas a régészeti örökség monitoringjának kiegészítésére az alapállapot fotótérképi és háromdimenziós rögzítésével, a később esetlegesen felmerülő havária esetére, az összevethetőség érdekében. Jól illeszkedik a régészeti koncepcióba, például a kunhalmok ciklikus felmérése 10 éves periódusokban történik, és ebben is felhasználhatóak a nagyfelbontású ortofotók és háromdimenziós felületmodellek.

A kiemelt helyszínek változáselemzése olyan laboratóriumi és terepi feladat, amelyet a légifelvételek interpretációjával, a céltérképek számítógépes megrajzolásával, illetve terepi ellenőrzésekkel lehet megvalósítani. A terepi validálás minden távérzékelési projekt pontosságelemzési szükséglete. A terepi kutatói jelenlét azért is fontos, mert a távérzékelte állományon tapasztalt anomália helyszínelése, a helyszíni válaszok keresése, a változás okainak terepi feltárássra vezet el a megbízható információkhoz.

A módszer ezáltal ellenőrzötté, megbízhatóvá válik, fényt derít az értékes területeken végbemenő illegális fakitermelésre, gyepfeltöresre, dokumentálja és jelzi a haváriákat. A megfelelő időpont(ok)ban elvégzett felmérés az egyes beavatkozások alapállapot felmérését, a rehabilitáció, környezetrekonstrukció sikerének ellenőrzését is jól szolgálja. Az eljárás a jelenleg is zajló, kisebb léptékű, korábban a felmérési ciklusból kieső beavatkozások dokumentálását is megoldhatja.

A hálózat így a tájérték kataszter időbeli követéséhez is hozzájárul. A vizsgálati helyszínek reprezentálják azt a jellegzetességet, ami megjelenik a tájban. A kiemelt fajok populációbiológiai jellemzői, a fajokat és élőhelyeiket veszélyeztető tényezők, a tájrészletre ható folyamatok megismerése a foltokon kívül is elősegíti a megfelelő környezetgazdálkodást. Ezáltal biztosítható a védett területek tervezését, kijelölését, és a kezelési stratégiájuk szisztematikus kidolgozását és megalapozását segítő információk rendelkezésre állása.

Olyan kérdésekre kaphatunk válaszokat, amelyek országos szinten korábban elérhetetlenek voltak, ugyanakkor a fenntartható gazdálkodási struktúrák, valamint a környezet- és természetvédelem szempontjából a jövőben nélkülözhetetlenek lesznek (Mihók et al. 2014). Ilyen például a klíma és a mikroklima változás élőhelyekre, légyszárú foltdinamikára, erdőkre gyakorolt hatásainak észlelése a nagyléptékű felvételeken, vagy például a középhegységi patakok mederváltozásainak és az erdőben kiinduló eróziós folyamatoknak a nyomon követése. A példákat hosszasan lehetne sorolni, mert a nagyfelbontású felvételek olyan jeleket is leképeznek, amelyekre a klasszikus légi felmérések nem voltak szenzitívek, és amelyek a földön haladva nem, vagy nehezen megfoghatók.

Emellett a rendszer korai előrejelző hálózatot jelent, elősegítve a környezetre és a gazdaságra káros folyamatok megelőzését. A környezetpolitikai döntések tagállami és lokális szintjét is támogatja a megalapozott térbeli információkkal.

A módszer alapelvei

A hálózat funkcióját a következő feltételek teljesülése esetén tudja ellátni:

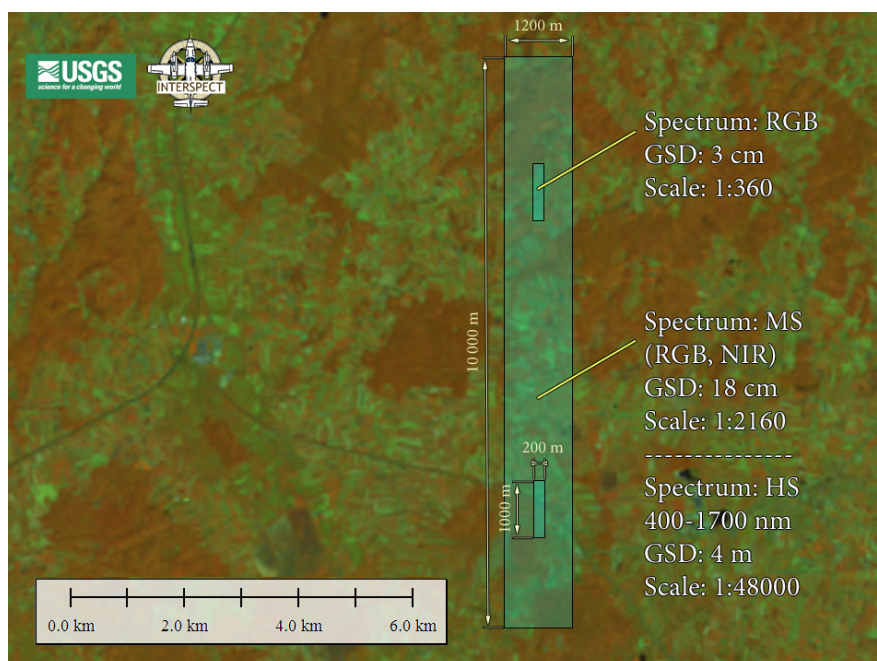
- Szabad elérés, ingyenes publikálás: A természeti értékek védelme szempontjából fontos érintettek lehető legszélesebb körének bevonása, és az eredmények, felvételek és köztes adatok teljes körű, ingyenes hozzáférhetővé tétele.
- Független monitoring-hálózat: Független finanszírozású interdiszciplináris kutatásként működhet, nem pedig meglévő struktúráknak alárendelt módon.
- Visszacsatolás elősegítése: Az igény-vezérelt megközelítés érvényesülhet abból a szempontból is, hogy az anyagok szabadon hozzáférhetőek lesznek, így az állami- és magán erőforrás-gazdálkodók a számukra releváns vizsgálatokban a rendszer tervezett kiértékelési menetén túl is felhasználhatják őket. Így az adott helyszín szempontjából közvetlenül érintett gyakorlati szakemberek széles köre ellenőrizheti, kiegészítheti a vizsgálatokat, mintegy visszacsatolást képezve.
- Zavarásmentes eljárások: A módszer kidolgozásának legfontosabb alapelvei közé tartozott, hogy a légi felmérések ne okozzanak kimutatható zavarást a vizsgált élőhelyeken, illetve a nagyszámú vizsgálati ciklus ne veszélyeztesse a költő és bűvőhelyek közelében koncentráltan jelen levő madarakat és repülő emlősöket. Ezért olyan berendezés és eljárás háttérrel dolgoztunk ki, amely lehetővé teszi a rendkívül nagy terepi felbontású, szabatos ortofotók elkészítését 800 méteres, vagy nagyobb terepfeletti magasságból végrehajtott felvételezéssel (Bakó 2013; Bakó 2013b; Bakó et al. 2014b; Bakó 2017).

Javaslatok

A monitoring-hálózat alkalmas a kiemelt jelentőségű természeti területek, illetve nagyterjedésű területek esetében a jellemző tájrészletek nagyléptékű, zavarásmentes, költséghatékony nyomon követésére, így javasoljuk a bevezetését a kontinens léptékű (kisfelbontású) és a közepes felbontású országos lefedettséget biztosító felmérési módok kiegészítésére.

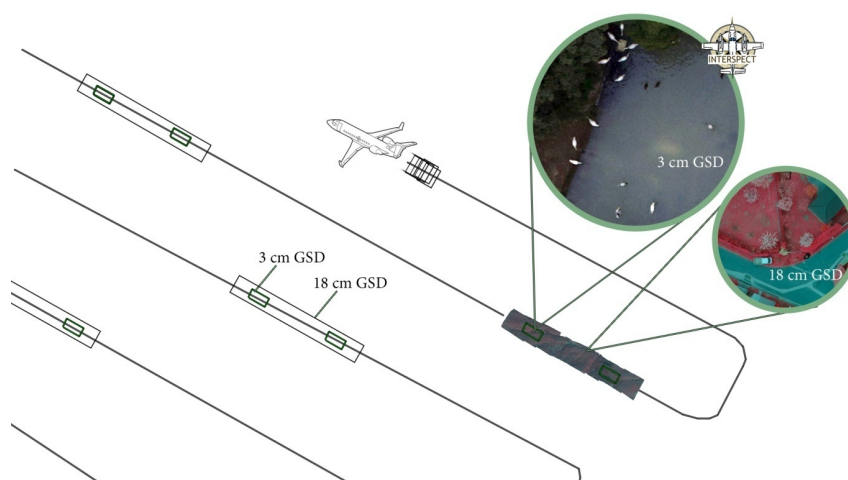
Semmiképpen nem javasoljuk az ortofotók egybeolvasztását a vadszámlálási feladatoknál, mert a helyváltoztató egyedek mozgása csak különálló ortofotók lapozásával követhető, miáltal az adott egyed többszöri leszámlálása elkerülhető.

A nagy részletességű, relatív nagy, 800 m földfelszínhez viszonyított repülési magasságból történő zavarásmentes légi felmérés RGB és ferde kameratengelyű felvételezéssel rendkívül hatékony, ugyanakkor néhány esetben érdemes tovább kísérletezni a költségesebb multispektrális adatgyűjtés lehetőségével is (10. ábra). Ez újabb típusú döntéstámogató információk kinyerését segítheti elő (Bakó 2010), és további új tudományos eredményeket hozhat a különböző kapcsolódó tudományterületeken.



10. ábra A módszer később multispektrális eljárásokkal is kiegészíthető
Figure 10. The method can be supplemented with multispectral aerial imagery

A felmérés részletessége, a térképezés geometriai pontossága, az időszori ciklus sűrűsége eddig sehol nem tapasztalható újítként nem csak Magyarországon érdekes, így mintaterülete lehetnének egy későbbi, kontinens léptékben is kívánatos új monitoring szisztéma bevezetésének (11. ábra).



11. ábra A költséghatékony nagy terepi felbontású monitoring módszer elve
Figure 11. The principle behind the cost-effective and high-resolution aerial monitoring method

A módszer felhasználható arra is, hogy felhívjuk a figyelmet az őshonos vegetáció génmegőrzése szempontjából nagy jelentőséggel bíró mezsgyék természetvédelmi értékeire. Ahogyan például a hazai mezőgazdasági területek madarai esetében tapasztalható biodiverzitás csökkenés is a nem megfelelő gazdálkodásra, ökológiai szempontokat figyelmen kívül hagyó tájtervezésre vezethető vissza (Szép et al. 2012), ami a vizsgálati és döntéstámogató rendszer segítségével gazdasági visszaesés nélkül is orvosolható lehet, megfelelő tervezési elvek támogatásával, ám ehhez az ok-okozati összefüggéseket bizonyító téradatokra is szükség van.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok Ábrám Örsnek, Arday Andrásnak, Biró Csabának, Fehér Lucának, Fülöpné Glöckner Ilonának, Göber Eszternek, Horváth Ferencnek, Licskó Bélának, Malatinszky Ákosnak, Molnár Zsoltnek, Morvai Edinának és Szilvácsku Zsoltnek a kísérletekben, illetve a cikk ellenőrzésében nyújtott segítségért.

Irodalom

- Bakó G. 2010: Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében. *Tájökológiai Lapok* 8(3): 507–522.
- Bakó G. 2012: Nagyfelbontású magyar multispektrális légi távérzékelési mérőműszerek a vegetációtérképezésben és növénybetegségek lokalizálásának elősegítéséhez. *Kitaibelia* 17(1): 71.
- Bakó G. 2013a: Nagysebességű repülőgépes távérzékelés és hozzá kapcsolódó adatfeldolgozási módszerek. In: Lóki J. (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV. - Térinformatikai konferencia és szakkiállítás kiadványa*, Debrecen. pp. 59–66.
- Bakó G. 2013b: Szuperfelbontású ökológiai vizsgálatok. *Természettudományi Közlöny* 144(10): 477–478.
- Bakó G. 2013c: Vegetációtérképezés nagyfelbontású valószínűségi- és multispektrális légifelvételek alapján. *Kitaibelia* 18(1-2):152–160.
- Bakó G. 2014a: Geoinformációs rendszerek és a távérzékelés szerepe a döntés előkészítésben. In: Jeney L., Hideg É., Tóza I. (szerk.) *Jövőföldrajz. A hazai gazdasági fejlődés területi és települési aspektusai a jelenben és a jövőben*. Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz és Jövő kutatás Tanszék – Belügyminisztérium Önkormányzati Államtitkárság közös kiadványa, Budapest. pp. 87–98.
- Bakó G. 2014b: Európa új földmegfigyelő műholdjai. *Élet és Tudomány* 69(5):132.
- Bakó G. 2014c: A földmegfigyelő műholdak jövőképe. *Élet és Tudomány* 69(8):134–235.
- Bakó G. 2014d: Légi fényképezés a gazdálkodásban és a közszolgáltatásban. *Aerial Photogrammetry in Economy and Public Services. E-Government Tanulmányok XL. – Tankönyv*. Corvinus Egyetem, Budapest. p. 126.
- Bakó G. 2017: Környezet- és természetvédelmi vonatkozású változások nyomon követése nagyfelbontású légi távérzékeléssel. Doktori (PhD) disszertáció, Szent István Egyetem, Biológia Tudományi Doktori Iskola, Gödöllő. p. 176.
- Bakó G. 2018: Önkormányzati technológiák, térinformatika, légi-felvételek, légi-felmérés. (KÖFOP-2.1.2-VEKOP-15-2016-00001 „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt keretén belül) Új Magyar Közigazgatás 2018. szeptember
- Bakó G., Kovács G. 2012: Nagyfelbontású légifelvétel-térképek alkalmazása a vegetációkutatásban. *Kitaibelia* 17(1): 8.
- Bakó G., Licskó B. 2010: Új eredmények a nagyfelbontású légifelvételek segítségével történő belvív- és árvízterképezésben. *Környezetvédelem. Ökológiai, Környezettechnológiai és Környezetstratégiai Szaklap* 8(3):14–15.
- Bakó G., Molnár Zs., Göber E. 2014a: Városi térinformatikai és döntéstámogató rendszerek raszter fedvényei – A legutóbbi időszak települési ortofotó felméréseinek tapasztalatai Magyarországon. *Tájökológiai lapok* 12(2): 285–305.
- Bakó G., Tolnai M., Takács Á. 2014b: Introduction and Testing of a Monitoring and Colony-Mapping Method for Waterbird Populations That Uses High-Speed and Ultra-Detailed Aerial Remote Sensing. *Sensors* 14: 12828–12846.
- Büttner Gy., Kosztra B. 2017: CLC2018 Technical Guidelines. European Environmental Agency, European Topic Centre on Urban, Land and Soil Systems, Environment Agency, Wien. p. 60.
- Csiszár, Á., Korda, M. (szerk.) 2015: *Özönnyövények visszaszorításának gyakorlati tapasztalatai*. Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest. p. 239.

- Daily, G., Ellison, K. 2002: The new economy of nature: the quest to make conservation profitable. Island Press. pp. 1–28.
- Dandois, J. P., Ellis, C. E. 2013: High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment* 136: 259–276.
- Fernandez-Guisuraga, E. J. M., Sanz-Ablanedo, E., Suarez-seoane, S., Calvo, L. 2018: Using Unmanned Aerial Vehicles in Postfire Vegetation Survey Campaigns through Large and Heterogeneous Areas: Opportunities and Challenges. *Sensors* 18(2): 586.
- Fülöp Gy., Bakó G., Szabó B. 2015: Detecting invasive woody increment in agricultural areas with Earth Observation technology. *Journal of Agricultural Informatics* 6(1): 40–49.
- Gann, D., Richards, H. J. 2013: Evaluating High-Resolution Aerial Photography Acquired by Unmanned Aerial Systems for Use in Mapping Everglades Wetland Plant Associations. CESU Agreement #W912HZ-10-2-0032
- Harmon, D. 2007: A Bridge over the Chasm: Finding Ways to Achieve Integrated Natural and Cultural Heritage Conservation. *International Journal of Heritage Studies* 13(4–5 Nature as Heritage): 380–392.
- Lorimer, J. 2018: Environmental conservation and restoration. *Companion to Environmental Studies* 5(5): 758–762.
- Mihók B., Pataki Gy., Kovács E., Balázs B., Ambrus A., Bartha D., Czirák Z., Csányi S., Csépanyi P., Csősz M., Dudás Gy., Egri Cs., Erős T., Göri Sz., Halmos G., Kopek A., Margóczy K., Miklay G., Milon L., Podmaniczky L., Sárvári J., Schmidt A., Sipos K., Siposs V., Standovár T., Szigetvári Cs., Szemethy L., Tóth B., Tóth L., Tóth P., Török K., Török P., Vadász Cs., Varga I., Báldi A. 2014: A magyarországi természetvédelem legfontosabb 50 kutatási kérdése a következő 5 évben. *Természetvédelmi Közlemények* 20: 1–23.
- Molnár Zs., Bakó G. 2014: Rapid Aerial Mapping Methods for Water Management. *GEO Informatics* 17(1): 44–45.
- Opdam, P., Luque, S., Nassauer, J. 2018: How can landscape ecology contribute to sustainability science? *Landscape Ecology* 33(1): 1–7.
- Szép T., Nagy K., Nagy Zs., Halmos G. 2012: Population trends of common breeding and wintering birds in Hungary, decline of long-distance migrant and farmland birds during 1999–2012. *Ornis Hungarica* 20: 13–63.
- Tolnai M., Nagy J. Gy., Bakó G. 2015: Spatiotemporal distribution of Landsat imagery of Europe using cloud cover-weighted metadata. *Journal of Maps* 12: 1084–1088.
- 2020: A 2020-ig tartó időszakra szóló általános uniós környezetvédelmi cselekvési program (<http://ec.europa.eu/environment/action-programme>)
- 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM

CONFIGURATION METHODOLOGY FOR A MONITORING NETWORK BASED ON HIGH RESOLUTION AND HIGH FREQUENCY AERIAL SURVEYS

G. BAKÓ

Interspect Ltd.

2314–Halásztelek, II. Rákóczi Ferenc út 42. e-mail: bakogabor@interspect.hu

Keywords: nature conservation, high spatial resolution aerial remote sensing, landscape protection, habitat, orthophoto

The methodological structure of the monitoring network type discussed here reveals the state of representative spots typical to the landscape. It requires extremely high-resolution, remote aerial sensing stocks with detailed field studies and retrospective data collection. It can provide data on a new scale by linking vegetation, habitat, and biodiversity monitoring networks at continent and EU Member State levels. The most important principles behind the procedure are the undisturbed technical implementation, interdisciplinary evaluation, practice-oriented criteria, and sustainable management structures, which may answer relevant questions about environment protection and nature conservation. The testing of this method started with 15 sites in 2018, based on technical research developed between 2008 and 2018. Our experience has confirmed that extremely high-resolution aerial survey practice can be used cost-effectively even in the case of a radical increase in the number of sample areas, without disturbing wildlife.